

УДК 637.5.02

О.В. БАТРАЧЕНКО

Черкаський державний технологічний університет

І.М. ЛИТОВЧЕНКО

Національний університет харчових технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ В БУНКЕРІ ЕМУЛЬСИТАТОРУ З ГОРИЗОНТАЛЬНИМ ЖИВЛЯЧИМ ПАТРУБКОМ

Шляхом чисельного моделювання досліджено особливості гідродинаміки м'ясної сировини в бункері емульситатора, який має горизонтальний живлячий патрубок. Встановлено, що в такому бункері наявні характерні зони руху сировини, які призводять до її гальмування та, відповідно, до зменшення питомої продуктивності машини та до підвищеного нагріву сировини при її подрібненні в різальному вузлі. Такі зони обумовлені наступним: гальмуванням сировини внаслідок тертя об стінки бункеру та об стінки живлячого патрубку, гальмуванням в місці зкруглення живлячого патрубку, зниженням швидкості сировини внаслідок зустрічі різнонаправлених потоків в бункері пірамідальної форми. Розроблено рекомендації для розробки нової конфігурації бункера емульситатора з підвищеною швидкістю подачі сировини до різального вузла.

Ключові слова: емульситатор, м'ясний фарш, бункер, гідродинаміка, чисельне моделювання.

OLEXANDR VICTOROVICH BATRACHENKO

Cherkassy State Technological University

IGOR MIKOLAEVYCH LITOVCHENKO

National University of Food Technologies

STUDY OF HYDRODYNAMICS OF RAW MEAT IN BUNKERS EMULSIFIERS WITH HORIZONTAL SUPPLY PIPE

Studied by numerical simulation of the hydrodynamics characteristics of raw meat in the hopper of emulsifier, which has a horizontal supply pipe. Found that in a bunker the existing distinctive areas of the flows of raw materials, which lead to its inhibition and, consequently, reduce the specific productivity of the machine and to the increased heating of the raw material during its grinding in the cutting unit. These zones are caused by the following: inhibition of raw materials due to the friction of the silo wall and the wall of the supply pipe, brake in place of the round feeding pipe; speed reduction of raw materials as a result of multidirectional flows in the hopper of pyramidal shape. Recommendations for the development of a new configuration of the bunker of emulsifier with increased feed rate to the cutting site.

Keywords: emulsifier, minced meat, hopper, hydrodynamics, simulation.

Постановка проблеми

Емульситатори використовуються для тонкого подрібнення фаршу після кутера або замість нього в технологічних лініях з виготовлення безструктурних ковбасних виробів. Одними з недоліків сучасних емульситаторів є недостатня їх питома продуктивність та підвищений нагрів сировини при подрібненні. Нагрівання сировини обумовлено підвищеною площею тертя ножів об решітку [1] та, на нашу думку, недостатньою швидкістю подачі фаршу з бункера в різальний вузол. Знижена швидкість надходження сировини в різальний вузол призводить до збільшення емісії тепла від різального комплексу до сировини, а також до недостатньо високої питомої продуктивності емульситаторів. Підвищена швидкість подачі сировини може бути забезпечена за рахунок обґрунтування раціонального взаємного розташування бункеру з сировиною та різального вузла (компонування машини), а також раціональних конструктивних і геометричних параметрів бункеру. В світлі вирішення даної задачі актуальним є дослідження гідродинаміки м'ясної сировини при її русі в бункері емульситатора.

Аналіз останніх джерел

Достатньо докладні відомості про емульситатори наведено в роботі [2]. Однак в ній не зазначено про вплив компоновання машини та конструктивного виконання бункерів на швидкість надходження сировини до різального вузла. В роботі [3] автори експериментальним шляхом дослідили витратні характеристики бункерів, які застосовуються в конструкції емульситаторів провідних світових виробників. Було встановлено, що бункерам (рис. 1) з горизонтальним живлячим патрубком властива найменша, вкрай низька, швидкість витікання сировини. Однак в роботі [3] отримані результати детально не пояснені, залишаються невизначеними особливості гідродинаміки м'ясної сировини в бункері емульситаторів. Це не дозволяє обґрунтувати таку будову бункеру і таке компоновання машини при якому буде забезпечено найвищу швидкість надходження сировини до різального вузла без використання примусової подачі.

Метою роботи є встановлення особливостей гідродинаміки м'ясної сировини в бункері емульситатора, який має горизонтальний живлячий патрубок, для створення передумов розробки нової конфігурації бункера з підвищеною швидкістю подачі сировини до різального вузла емульситатора.

Виклад основного матеріалу

Емульситатори відрізняються між собою компонованням, будовою бункеру та будовою різального

вузла [2, 4-9]. Одним із найбільш розповсюджених типів є емульсатор, який має бункер пірамідальної форми з горизонтальним живлячим патрубком та різальним комплектом на його кінці (рис. 1). Таке компонування мають машини марок "Karl Schnell FD", "Laska Nannokutter FZ", "INOTEC" тощо. Сировина (м'ясний фарш, який мілко подрібнений в кутері або у вовчку) самопливом потрапляє з бункеру 1 в патрубок 2 і далі до різального комплекту 4. При цьому швидкість руху сировини низька [3], що негативно впливає на її нагрів та на продуктивність машини.

Зважаючи на технічну складність задачі, дослідження гідродинаміки сировини проводилось шляхом моделювання за допомогою чисельних методів. Використовувався програмний комплекс FlowVision, який призначений для розрахунку гідро- та газодинамічних задач в широкому діапазоні чисел Рейнольдса в довільних тривимірних областях. В даному випадку базовими були рівняння Нав'є-Стокса та рівняння нерозривності потоку. Чисельне інтегрування рівнянь за просторовими координатами проводилось з використанням прямокутної сітки (рис. 2).

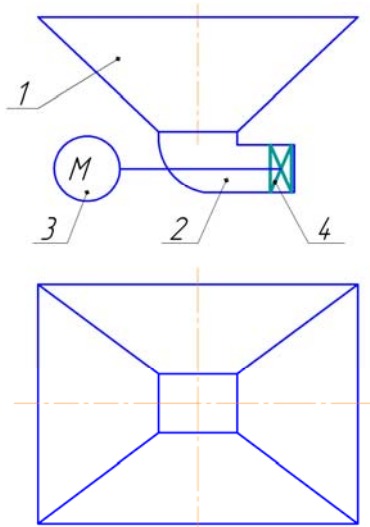


Рис. 1. Компонувальна схема емульсатора з горизонтальним живлячим патрубком:

1 - бункер; 2 - горизонтальний живлячий патрубок; 3 - електродвигун; 4 - різальний вузол

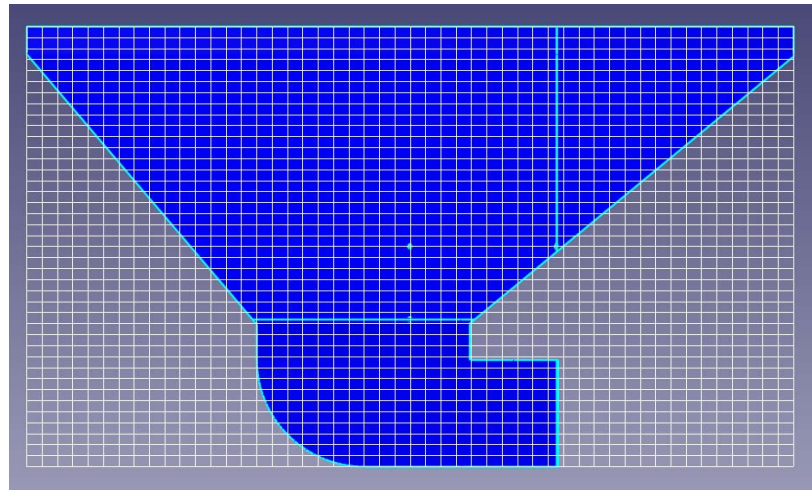


Рис. 2. Розрахункова сітка робочої зони досліджуваної моделі

Були використані наступні параметри: густина рідини 1050 кг/м^3 ; в'язкість $30 \text{ Па}\cdot\text{с}$ (відповідає м'ясному фаршу). При визначенні граничної умови стінки була задана шорсткість поверхні, яка характерна для матеріалу, з якого виготовляються бункери. Використано кілька способів візуалізації отриманих результатів: заливка кольором, ізолінії та вектори. Результати чисельного моделювання наведені на рис. 3-7.

Як слідує з отриманих даних, в бункері представлені будови наявні кілька характерних зон. Найбільший тиск сировини спостерігається (рис. 3) в нижній частині бункеру, а саме - в місці зкруглення живлячого патрубка ($4,23 \text{ кПа}$). Ближче до вихідного отвору патрубка тиск знижується до $1,96 \text{ кПа}$ і прямує до нуля на кінці патрубка. В бункері вище патрубка тиск знаходиться в межах $2-3 \text{ кПа}$ і поступово знижується до нуля по мірі наближення до верхнього зрізу бункеру.

Швидкість сировини приймає різні значення як в горизонтальній, так і у вертикальній площині. Найбільші значення швидкості спостерігаються (рис. 4-6) біля вихідного отвору патрубка і складають $(0,8-1) \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$. Окремо слід вказати, що такі значення швидкості наявні лише в зоні біля повздожньої вісі симетрії патрубка, ближче до його стінок (рис. 5, 6) швидкість суттєво знижується до $(0-0,5) \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$.

В зоні зкруглення патрубка сировина рухається уповільнено, зі швидкістю $(0-0,3) \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$ (рис. 4).

В бункері при русі сировини донизу її швидкість поступово збільшується до $0,3 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$, що можна пояснити зменшенням поперечного перерізу бункеру по напрямку руху сировини.

Значний інтерес являє собою розподілення значень вертикальної швидкості сировини в горизонтальному перетині бункеру (рис. 7). Чітко виражена зона з локальним підвищенням швидкості до $(0,3-0,4) \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$, яка розташована навколо серединного вертикального перетину бункеру в місці його сполучення з патрубком ближче до вихідного отвору патрубка. Навколо цієї зони сировина рухається зі швидкістю порядку $0,25 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$ і менше. Чим ближче до зкруглення патрубка і стінок бункеру, тим менша швидкість сировини.

Узагальнюючи отримані дані, можна скласти наступну схему розташування характерних зон руху м'ясної сировини в бункері емульсатора (рис. 8). Рухаючись від верхнього зрізу бункеру до живлячого патрубка сировина поступово збільшує свою вертикальну швидкість за рахунок зменшення поперечного перерізу бункеру по напрямку руху. В той же час швидкість сировини не набуває високих значень через гальмування внаслідок тертя об стінки бункеру (зона 4) та внаслідок зустрічі різнонаправлених потоків (в

даному випадку А та Б) в місці сполучення з живлячим патрубком (зона 5).

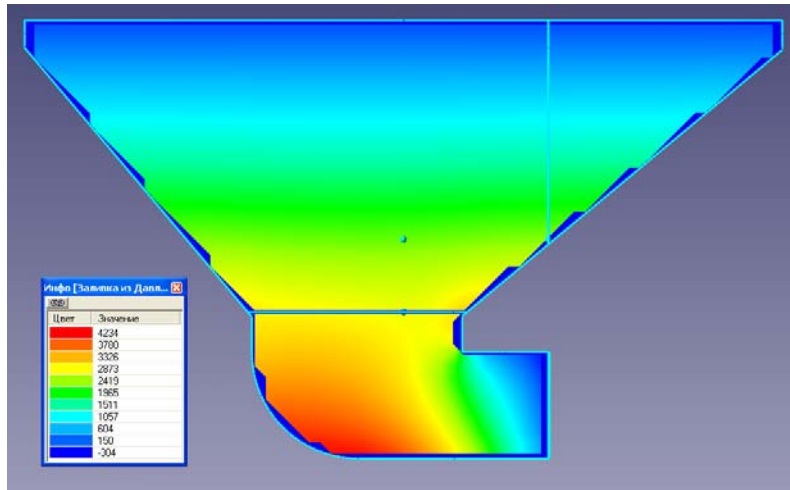


Рис. 3. Тиск в сировині, Па (вертикальний серединний поперечний переріз бункеру)

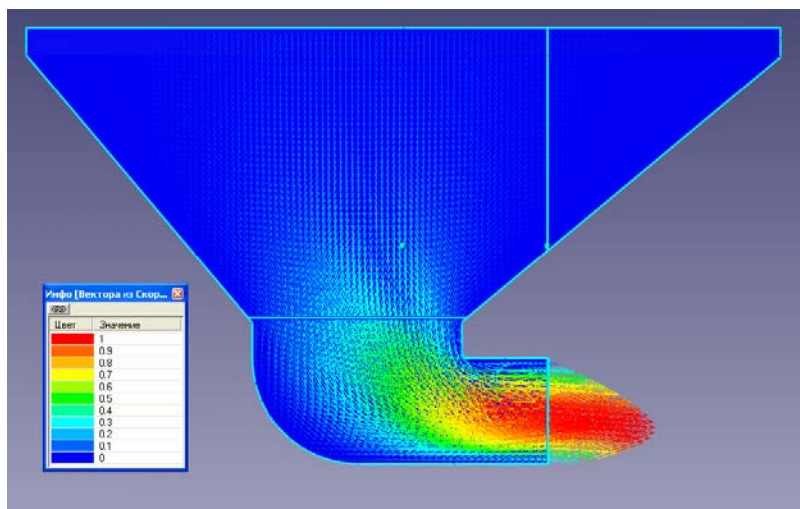


Рис. 4. Швидкість сировини у вигляді векторів, $\cdot 10^{-2}$ м/с (вертикальний поперечний переріз бункеру)

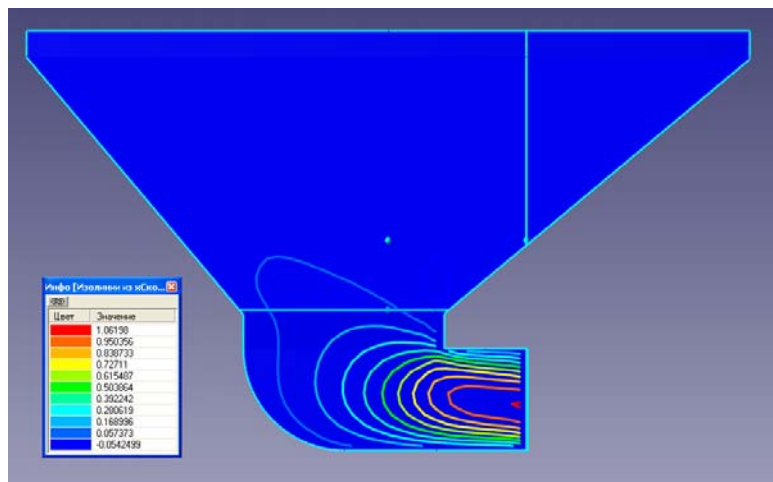


Рис. 5. Горизонтальна швидкість сировини у вигляді ізоліній, $\cdot 10^{-2}$ м/с (вертикальний серединний поперечний переріз бункеру)

Необхідність зміни напрямку руху сировини на 90° (з вертикального на горизонтальний) разом із наявністю значної адгезії сировини до стінок бункеру і патрубку призводить до появи застійної зони 3 в місці зкруглення патрубку, в якій сировина рухається з край малою швидкістю або не рухається зовсім. В самому ж патрубку наявні зони 2 гальмування сировини внаслідок тертя об його стінки, ці зони розташовані по периметру поперечного перерізу патрубку на всій його довжині. Як результат, максимальна швидкість сировини спостерігається лише в зоні 1, яка розташована навколо повздовжньої вісі симетрії живлячого патрубку і яка має достатньо обмежений габарит в поперечному перерізі.

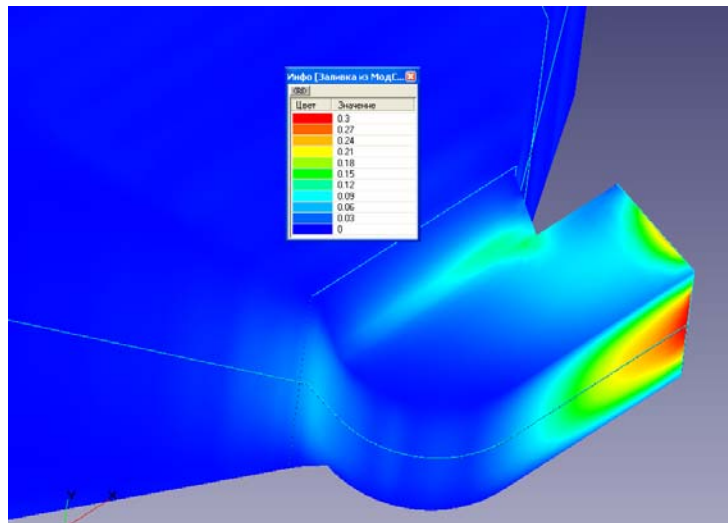


Рис. 6. Швидкість сировини вздовж стінок живильного патрубку, $\cdot 10^{-2}$ м/с

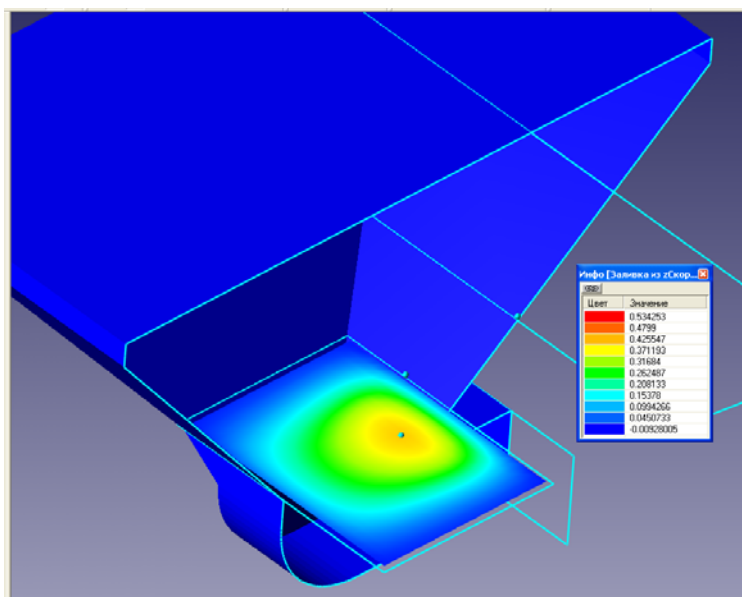


Рис. 7. Вертикальна швидкість сировини, $\cdot 10^{-2}$ м/с
(горизонтальний поперечний переріз бункера в зоні з'єднання з живильним патрубком)

Все це обумовлює низькі витратні характеристики бункера досліджуваного типу та, відповідно, знижену питому продуктивність емульсатора та підвищений нагрів сировини при подрібненні.

На основі результатів проведених досліджень можна виробити наступні рекомендації для розробки нової конфігурації бункера емульсатора з підвищеною швидкістю подачі сировини до різального вузла:

- уникати зміни напрямку руху сировини на 90° , рух сировини в бункері повинен бути співнаправлений з рухом у напрямку до різального вузла;
- уникати створення зустрічних потоків сировини в бункері з метою попередження їх взаємного гальмування;
- уникати живлячих патрубків, щонайменше їх довжина повинна бути мінімальною;
- зменшити тертя сировини об стінки бункера за рахунок вибору раціональних кутів нахилу його стінок;
- зменшити адгезію сировини об стінки бункера та живлячого патрубка за рахунок обґрунтованого вибору видів конструкційних або оздоблювальних матеріалів.

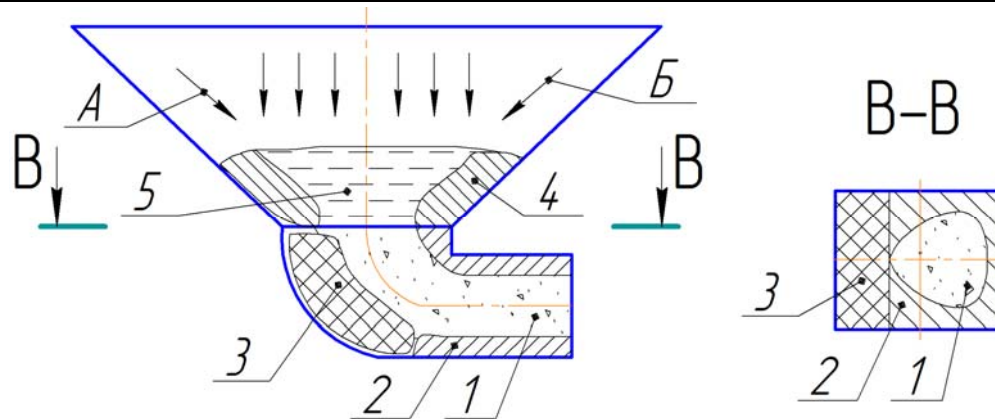


Рис. 8. Характерні зони руху м'ясної сировини в бункері емульсатора:
 1 - рух сировини з найбільшою швидкістю; 2 - гальмування сировини внаслідок тертя об стінки живлячого патрубку; 3 - застійна зона в місці зкруглення живлячого патрубку; 4 - гальмування сировини внаслідок тертя об стінки бункера; 5 - зниження швидкості сировини внаслідок зустрічі різнонаправлених потоків

Висновки

Встановлено, що в бункері емульсатора з горизонтальним живлячим патрубком наявні характерні зони руху сировини, які призводять до її гальмування та, відповідно, до зменшення питомої продуктивності машини та до підвищеного нагріву сировини при її подрібненні в різальному вузлі. Такі зони обумовлені наступним: гальмуванням сировини внаслідок тертя об стінки бункера та об стінки живлячого патрубку, гальмуванням в місці зкруглення живлячого патрубку; зниженням швидкості сировини внаслідок зустрічі різнонаправлених потоків в бункері пірамідальної форми.

Найбільша швидкість руху сировини $((0,8-1) \cdot 10^{-2} \text{ м/с})$ спостерігається в локальній зоні, яка розташована навколо поперечної осі симетрії живлячого патрубку. Найбільший тиск сировини (4,23 кПа) спостерігається в нижній частині бункера, в місці зкруглення живлячого патрубку.

Розроблено рекомендації для розробки нової конфігурації бункера емульсатора з підвищеною швидкістю подачі сировини до різального вузла. Напрямами подальших досліджень можуть бути розробка і обґрунтування нової конфігурації бункера з підвищеною швидкістю подачі сировини та розробка нового відповідного компонування емульсатора.

Література

1. Некоз О. І. Обґрунтування шляхів зменшення нагріву фаршу при його подрібненні в емульсаторі / О. І. Некоз, О. В. Батраченко, К. А. Мирошніченко // Вісник ЧДТУ. – 2015. – № 2. – С. 91–98.
2. Вербицький С. Б. Вдосконалення процесу тонкого подрібнення м'ясної сировини та розроблення емульсаторів роторного типу : дис. ... кандидата техн. Наук : 05.18.12 / Вербицький Сергій Борисович. – Київ, 2014. – 284 с.
3. Мирошніченко К. А. Витратні характеристики бункерів емульсаторів / К. А. Мирошніченко, О. В. Батраченко // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький : ХНУ, 2016. – № 5. – С. 14–18.
4. Mincing machine for mincing a product. Patent USA № 2016/0051990 A1, B02C18/304, 25.02.2016.
5. Промисловий каталог фірми «Maschinenfabrik Laska GmbH» [Електронний ресурс]. – Австрія, 2017. – Режим доступу : www.laska.at.
6. Промисловий каталог фірми «Stephan Machinery GmbH & Co.» [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2017. – Режим доступу : www.stephan-machinery.com.
7. Промисловий каталог фірми «KILIA Fleischerei- und Spezial Maschinen Fabrik GmbH» [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2017. – Режим доступу : www.kilia.com.
8. Промисловий каталог фірми «Karl Schnell GmbH & CO. KG» [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2017. – Режим доступу : www.karlschnell.de.
9. Промисловий каталог фірми «Maschinenfabrik Seydelmann KG» [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2017. – Режим доступу : <http://www.seydelmann.com>.

Рецензія/Peer review : 26.1.2017 р.

Надрукована/Printed : 18.4.2017 р.
 Рецензент: к. т. н. Л. М. Мізнік